

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЫРЕЗНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ДИСКА

Лобачевский Я.П.¹,
докт. техн. наук, член-корр. РАН;

Старовойтов С.И.^{2*},
канд. техн. наук

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация

²Брянский государственный аграрный университет, ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская обл., 243365, Российская Федерация, *e-mail: starovoitov.si@mail.ru

Установили, что дисковые рабочие органы подразделяются по сплошности лезвийной части, форме диска и выреза, характеру выреза. Предположили, что снижение энергоемкости при внедрении сегмента сферического вырезного диска достижимо при трансформации внешней режущей кромки в сторону вогнутой поверхности рабочего органа, что соответствует сложному виду нагружения. Разработали методику расчета энергоемкости при внедрении передней режущей кромки и кривых, формирующих поверхность сегмента. При внедрении площадка кривой испытывает действие нормальных и касательных усилий со стороны почвы. Координаты точек кривых поверхности трансформированного сегмента получены расчетным путем. С использованием программы *SPSS Statistics* кривые аппроксимированы квадратной параболой. Геометрические параметры диска, угол атаки, поступательная скорость движения учтены через траекторию заглупления, которая также аппроксимируется квадратной параболой. Почва как объект обработки представлена коэффициентом деформации, углом внешнего трения, пределом прочности на сжатие. Расчет осуществлялся при следующих исходных данных: величина горизонтального единичного интервала равна 0,005 м; величина вертикального единичного интервала – 0,004 м; абсолютная влажность суглинистой почвы – 20,73 процента; твердость – 3,3 МПа; ширина кривых крошения – 0,001 м; предел прочности почвы на сжатие – 154 175 Па; нормальные напряжения, соответствующие коэффициенту деформации почвы, составили 45 178 Па. Доказали, что при трансформации на углы 1, 2 и 3 градуса внешней режущей кромки на суглинистых почвах среднее значение горизонтальной составляющей тягового сопротивления меньше анализируемой величины на 15,52; 15,79 и 13,55 процента соответственно. Минимальной величиной среднего тягового сопротивления обладает сегмент с углом трансформации внешней режущей кромки 2 градуса.

Ключевые слова: обработка почвы, почворежущие рабочие органы, вырезной диск, тяговое сопротивление.

■ Для цитирования: Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Расчет параметров вырезного почвообрабатывающего диска // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №3. С. 24-28

DETERMINATION OF CUTTING TILLAGE DISK PARAMETERS

Lobachevskiy Ya.P.¹,
D.Sc.(Eng.), corr. member of RAS;

Starovoytov S.I.^{2*},
Ph.D.(Eng.)

¹Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru

²Bryansk State Agrarian University, Sovetskaya St., 2a, vil. Kokino, Vygonichi district, Bryansk region, 142660, Russian Federation, *e-mail: starovoitov.si@mail.ru

Disk working elements are classified by continuity of the blade, forms of the disk and cutout and type of the cutout. Decrease in power consumption while introducing a segment of a spherical cut disk is possible at transformation of the external cutting edge towards a concave surface of the working element that corresponds to a difficult type of loading. The methods of calculation of power consumption at introduction of the forward cutting edge and curves forming a segment surface were developed. Normal and tangent efforts from the soil affect the platform of the curve when penetration. The coordinates of curve points of the transformed segment surface can be received by calculation. With usage of the *SPSS Statistics* program the curves are approximated by a square parabola. Geometrical parameters of the disk, an angle of attack, the travel speed of the movement are considered through a deepening trajectory which is also approximated by a

square parabola. The soil as an object of processing is presented by deformation coefficient, the angles of external friction, compressive strength. The calculation was performed at the following basic data: the size of a horizontal single interval is 0.005 m; the size of a vertical single interval is 0.004 m; the absolute humidity of the loamy soil equals 20.73 percent; the hardness is 3.3 MPa; the width of crumbling curves is 0.01 m; the limit of soil solidity on compression is 154 175 Pa; the normal tensions corresponding to coefficient of the soil deformation made 45 178 Pa. When in loamy soil external cutting edge transformation is 1, 2 and 3 degrees, so an average value of a horizontal component of traction resistance is less than the analyzed size by 15,52, 15,79 and 13,55 percent respectively. The segment with the transformation angle of the external cutting edge equaled 2 degrees has a minimum value of average traction resistance.

Keywords: Soil cultivation; Soil-cutting working elements; Cut disk; Traction resistance.

For citation: Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Determination of cutting tillage disk parameters. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 24-28. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-24-28. (In Russian)

Обработка почвы почворезущими рабочими органами (лемехами, стрельчатыми и доло-тообразными культиваторными лапами, дисковыми рабочими органами) остается энерго-емкой и востребованной операцией в производстве сельхозкультур [1-4].

Дисковые рабочие органы можно дифференцировать по сплошности поверхности, форме диска и выреза, по характеру выреза. Классификация дисковых рабочих органов по сплошности поверхности подразумевает наличие сплошных и вырезных дисков. По форме поверхности дисковые рабочие органы подразделяются на плоские, сферические, конические, рифленые. Вырез может быть округлым или трапецидальным, симметричным или асимметричным [5-7].

Сегмент сферического вырезного диска с округлым симметричным вырезом имеет переднюю, внешнюю, заднюю режущие кромки. Процесс воздействия сегмента на почву включает три фазы: внедрение, движение в почве, выход из нее. В зависимости от глубины обработки в почве могут находиться одновременно 2 или 3 сегмента.

При внедрении сегмента передняя и внешняя режущие кромки его в совокупности с поверхностью оказывают воздействие на почву. Если трансформировать внешнюю режущую кромку в сторону вогнутой поверхности, то сегмент будет работать в условиях сложного нагружения при снижении энергоемкости процесса [8-10]. При трансформации будут также отклонены области сегмента, прилегающие к внешней и задней режущим кромкам.

Важно обосновать целесообразную величину угла трансформации внешней режущей кромки при работе вырезного диска на суглинистых почвах.

Цель исследования – теоретическое обоснование величины угла трансформации внешней режущей кромки сегмента при взаимодействии с суглинистой почвой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Энергоемкость внедрения сегмента вырезного диска в почву:

$$A = A_1 + A_2, \quad (1)$$

где A – энергоемкость внедрения сегмента, Дж;

A_1 – энергоемкость внедрения поверхности сегмента, Дж;

A_2 – энергоемкость внедрения передней режущей кромки, Дж.

На рисунке 1 изображен сегмент вырезного диска. Передняя режущая кромка ae представлена совокупностью элементарных составляющих ab, bc, cd, de . Работа каждой при внедрении в почву равна:

$$A_{эрк} = \sigma_{с.жс} S_{кр} \Delta h, \quad (2)$$

где $A_{эрк}$ – энергоемкость внедрения элементарной составляющей режущей кромки, Дж;

$\sigma_{с.жс}$ – предел прочности суглинистой почвы на сжатие, Па;

$S_{кр}$ – площадь фрагмента режущей кромки, м²;

Δh – единичный шаг заглубления, м.

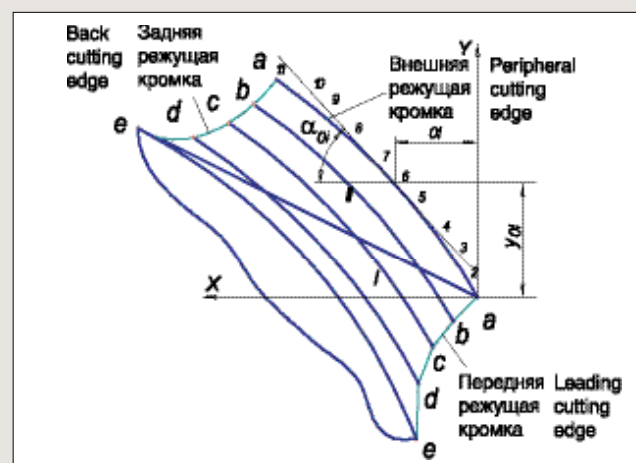


Рис. 1. Сегмент вырезного диска

Fig. 1. Cut disk segment

Энергоемкость внедрения передней режущей кромки ae :

$$A_2 = \sum_{i=1}^n A_{эрк_i}. \quad (3)$$

Энергоемкость внедрения поверхности сегмента вырезного диска:

$$A_1 = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (4)$$

где A_k – энергоемкость внедрения кривой поверхности сегмента, Дж.

Поверхность сегмента представлена кривыми aa , bb , cc , dd .

Энергоемкость внедрения кривой поверхности сегмента [11]:

$$A = \sigma \int_0^{x_0} dx \int_{h(x)}^H \varphi(x, h) dh, \quad (5)$$

где σ – нормальное напряжение, соответствующее коэффициенту деформации почвы, Па;

x_0 – горизонтальная координата точки задней режущей кромки на момент внедрения, м;

$h(x)$ – величина заглубления, при которой элементарная площадка кривой вступит в контакт с почвой, м;

H – максимальная величина заглубления кривой поверхности, м.

Численное решение выражения (5) получено с учетом работы элементарных площадок кривой поверхности сегмента на единичном шаге заглубления:

$$dA = dN_y * dly * + dN_x * dlx * + dT_y * dly * + dT_x * dlx *, \quad (6)$$

где $dN_y *$, $dN_x *$ – проекции нормального усилия элементарной площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y , Н;

$dT_y *$, $dT_x *$ – проекции касательного усилия элементарной площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y , Н;

$dly *$, $dlx *$ – проекции участка траектории движения площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y , м.

Проекции нормального усилия элементарной площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y равны:

$$dN_x * = b \sigma [\sin(kh) + f'(x) \cos(kh)] dx; \quad (7)$$

$$dN_y * = b \sigma [\cos(kh) + f'(x) \sin(kh)] dx, \quad (8)$$

где b – ширина кривой поверхности сегмента, м;

k – коэффициент соответствия угла поворота величине заглубления, рад/м;

h – величина заглубления элементарной площадки кривой поверхности, м;

dx – величина горизонтального единичного интервала, м.

Определим проекции касательного усилия элементарной площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y :

$$dT_y * = f_{внеш} b \sigma [\sin(kh) + f'(x) \cos(kh)] dx; \quad (9)$$

$$dT_x * = f_{внеш} b \sigma [\cos(kh) + f'(x) \sin(kh)] dx, \quad (10)$$

где $f_{внеш}$ – коэффициент внешнего трения суглинистой почвы.

Проекции участка траектории движения площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y равны:

$$dlx * = [-(x \sin(kh) + f(x) \cos(kh) + a'(h)) dh; \quad (11)$$

$$dly * = [k (x \cos(kh) + f(x) \sin(kh)) - 1] dh, \quad (12)$$

где $f(x)$ – функция кривой поверхности сегмента;

$a'(h)$ – первая производная функции кривой заглубления;

x – горизонтальная координата исследуемой площадки, м;

dh – величина вертикального единичного интервала, м.

В таблице представлены значения a_1 , b_1 , x_0 кривых поверхности сегмента продольно-вертикальной проекции вырезного диска с углами трансформации внешней режущей кромки 1°, 2° и 3° вокруг линии ea , аппроксимированных в программе *SPSS Statistics 17.0*.

Координаты точек II участка, смещенные в сторону вогнутой поверхности диска, получены с использованием выражений:

$$x_i = \sqrt{x_{0i}^2 + y_{0i}^2} \cos(\alpha_{0i} - \Delta\alpha); \quad (13)$$

$$y_i = \sqrt{x_{0i}^2 + y_{0i}^2} \sin(\alpha_{0i} + y_0), \quad (14)$$

где x_{0i} , y_{0i} – текущие координаты точек кривых крошения сегмента, м;

α_{0i} – угол между касательной к точке кривой крошения сегмента и горизонтом, град.;

$\Delta\alpha$ – угол трансформации внешней режущей кромки, град.

Горизонтальная составляющая тягового сопротивления вырезного диска на единичном шаге заглубления будет определяться из следующего выражения:

$$R_x = \frac{A}{R \Delta\varphi_{внед}}, \quad (15)$$

где R_x – горизонтальная составляющая тягового сопротивления диска, Н;

R – радиус диска, м;

$\Delta\varphi_{внед}$ – интервал угла внедрения элементарной кривой составляющей поверхности сегмента, рад.

Для расчета энергоемкости внедрения сегмента режущей кромки вырезного диска была разработана программа в *Microsoft Excel*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Расчет проводили при следующих исходных данных: величина горизонтального единичного интервала $dx=0,005$ м; величина вертикального единичного интервала $dh=0,004$ м; абсолютная влажность суглинистой почвы – 20,73%; твердость почвы – 3,3 МПа; ширина кривых крошения $b=0,01$ м; предел прочности

Table		Таблица		
ЗНАЧЕНИЯ АППРОКСИМИРОВАННЫХ КРИВЫХ APPROXIMATED CURVES VALUES				
Кривые Curves	<i>aa</i>	<i>bb</i>	<i>cc</i>	<i>dd</i>
При угле трансформации 1° / Transformation angle 1°				
<i>a_I</i>	-9,337	-8,924	-9,916	-12,392
<i>b_I</i>	1,458	1,436	1,518	1,834
<i>x₀</i>	0,097	0,095	0,102	0,115
При угле трансформации 2° / Transformation angle 2°				
<i>a_I</i>	-9,916	-8,649	-9,713	-12,508
<i>b_I</i>	1,487	1,413	1,485	1,835
<i>x₀</i>	0,097	0,096	0,101	0,114
При угле трансформации 3° / Transformation angle 3°				
<i>a_I</i>	-8,761	-8,421	-9,525	-12,629
<i>b_I</i>	1,375	1,359	1,452	1,835
<i>x₀</i>	0,098	0,097	0,102	0,115

почвы на сжатие $\sigma_{сж} = 154-175$ Па; нормальные напряжения, соответствующие коэффициенту деформации почвы, рассчитанные по формуле М.Д. Подскребко [12], составили $\sigma = 45-178$ Па.

На рисунке 2 представлено изменение среднего значения горизонтальной составляющей тягового сопротивления при внедрении сегмента стандартного вырезного диска и сегментов с трансформированной режущей кромкой.

При трансформации на углы 1°, 2° и 3° внешней режущей кромки среднее расчетное значение горизонтальной составляющей тягового сопротивления меньше анализируемой величины на 15,52; 15,79 и 13,55% соответственно. Минимальной величиной среднего тягового сопротивления при внедрении

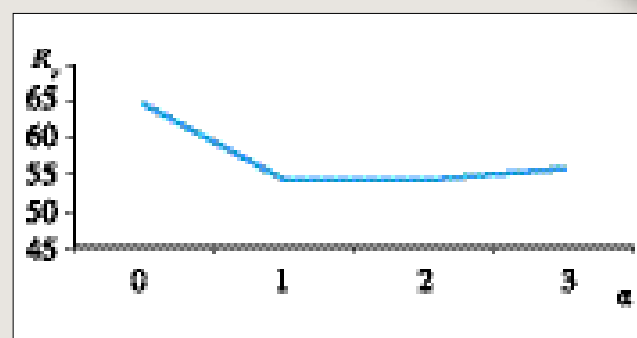


Рис. 2. Зависимость среднего значения горизонтальной составляющей тягового сопротивления (R_z , Н) от угла трансформации внешней режущей кромки (α , град.)

Fig. 2. Dependence of average value of a horizontal component of traction resistance (R_z , N) on transformation angle of peripheral cutting edge (α , degrees)

в суглинистую почву обладает сегмент с углом трансформации внешней режущей кромки 2°.

Выводы

Предложенная методика позволяет определить зависимость горизонтальной составляющей тягового сопротивления сегмента вырезного диска при единичном шаге заглубления сегмента определенной геометрии.

Почва как объект обработки представлена коэффициентом деформации, углом внешнего трения, пределом прочности на сжатие.

При трансформации на углы 1°, 2° и 3° внешней режущей кромки среднее значение горизонтальной составляющей тягового сопротивления меньше анализируемой величины на 15,52; 15,79 и 13,55% соответственно. Минимальной величиной среднего тягового сопротивления обладает сегмент с углом трансформации внешней режущей кромки 2°.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Эльшейх А.Х. Обоснование расстановки дисковых рабочих органов в комбинированных почвообрабатывающих агрегатах // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. N4. С. 22-25.
2. Лобачевский Я.П. Новые почвообрабатывающие технологии и технические средства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2000. N8. С. 30-32.
3. Лобачевский Я.П. Современные почвообрабатывающие технологии. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 1999. 39 с.
4. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N5. С. 10-13.
5. Лобачевский Я.П., Эльшейх А.Х. Обоснование геометрических параметров сферического диска с повернутой и наклоненной осью вращения в комбинированных агрегатах для обработки орошаемых почв Республики Судан // Сельскохозяйственные машины и техно-

- логии. 2009. N3. С. 20-25.
6. Spokas K., Forcella F., Archer D., Reicosky D. SeedChaser: Vertical soil tillage distribution model. Computers and Electronics in Agriculture. 2007; 57: 62-73.
7. Shmulevich I., Asaf Z., Rubinstein D. Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method. Soil & Tillage Research. 2007; 97: 37-50.
8. Пат. N2085061 РФ. Диск для пахоты и дисковый плуг. Жаверляк Ж.А., Бюлл. 1997.
9. Пат. N164907 РФ. Диск вырезной. Старовойтов С.И., Бюлл. 2016.
10. Ibrahmi A., Bentaher H., Hbaieb M., Maalej A., Mouazen A.M. Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation. Computers and Electronics in Agriculture. 2015; 117: 258-267.
11. Комогорцев В.Ф., Старовойтов С.И. Обоснование передней поверхности рабочего органа чизельного куль-

тиватора: Материалы научно-технической конференции студентов, преподавателей и аспирантов Брянской ГСХА. Брянск: Брянская ГСХА, 1996. С. 35.

12. Подскребко М.Д. Закономерность удельного сопротивления почвы при вспашке // Техника в сельском хозяйстве. 2010. N2. С. 47.

REFERENCES

1. Lobachevskiy Ya.P., El'sheykh A.Kh. Justification of placement of disk working tools in combined soil-cultivating units. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009; 4: 22-25. (In Russian)
2. Lobachevskiy Ya.P. New soil-cultivating technologies and technical means. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2000; 8: 30-32. (In Russian)
3. Lobachevskiy Ya.P. Modern soil-cultivating technologies]. Moscow: MGAU, 1999: 39. (In Russian)
4. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Power and technological evaluation of soil cultivating working tool. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 5: 10-13. (In Russian)
5. Lobachevskiy Ya.P., El'sheykh A.Kh. Justification of geometrical parameters of spherical disk with the turned and inclined rotation axis in the combined units for cultivation of irrigated soils in Republic of the Sudan. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009; 3: 20-25. (In Russian)
6. Spokas K., Forcella F., Archer D., Reicosky D. SeedChaser: Vertical soil tillage distribution model. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2007; 57: 62-73. (In English)
7. Shmulevich I., Asaf Z., Rubinstein D. Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method. *Soil & Tillage Research*. 2007; 97: 37-50. (In English)
8. Patent N2085061 RF. Disk dlya pakhoty i diskovyy plug [Disk for plowed land and disk plow]. Zhaverlyak Zh.A. Byull. 1997. (In Russian)
9. Patent N164907 RF. Disk vyreznoy [Cut disk]. Starovoytov S.I. Byull. 2016. (In Russian)
10. Ibrahmi A., Bentaher H., Hbaieb M., Maalej A., Mouazen A.M. Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 117: 258-267. (In English)
11. Komogortsev V.F., Starovoytov S.I. Justification of leading surface of working tool of chisel plow: Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, prepodavateley i aspirantov Bryanskoy GSKhA. Bryansk: Bryanskaya GSKhA, 1996: 35. (In Russian)
12. Podskrebko M.D. Regularity of changing specific resistance of soil by plowing. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2011; 2: 47. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

